

# Stable isotope dendroclimatology in the Swiss Alps: a 1200-year record from European larch

a 1200-year record from European larch

**Doctoral Thesis****Author(s):**

Kress, Anne

**Publication date:**

2009

**Permanent link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005915118>

**Rights / license:**

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

Diss. ETH No. 18535

Stable isotope dendroclimatology in the Swiss Alps: a 1200-year record  
from European larch

A dissertation submitted to the

ETH ZÜRICH

for the degree of

Doctor of Sciences

presented by

ANNE KRESS

Dipl. Geoökol., University of Karlsruhe (TH)

born 27.02.1980

citizen of Germany

Accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Harald Bugmann (examiner)

Dr. Rolf T.W. Siegwolf (co-examiner)

Dr. Matthias Saurer (co-examiner)

Dr. Neil J. Loader (co-examiner)

2009

## Summary

---

There is little doubt that the Earth's climate is warming and that anthropogenic greenhouse gas emissions are chiefly to blame. However, to improve the models that are used to predict future climate change, a better assessment is needed of how climate has varied in the past, both temporally and spatially. To predict the impact of climate change on landscapes, ecosystems and the Earth's population, a broader understanding of the range of climate conditions that prevailed in the past is required. In this context, paleoclimatic research is of great importance. Many natural climate archives are spatially limited (e.g., ice cores) or lack high temporal resolution (e.g., marine sediments) and proxies recording temperature are considerably over-represented. Reconstructions of past moisture variability are rare, especially over central Europe. To overcome these restrictions and limitations, the EU-funded Millennium project (2006–2010) seeks to investigate European climate variability over the last 1,000 years using a wide range of instrumental, documentary and natural climate archives, including tree-ring stable isotopes, as they can provide a variety of climatic information (Chapter 2). This multi-proxy ensemble should improve model predictions of future climate change and therefore help to better assess its associated impacts.

As a part of the Millennium project, this thesis involved the compilation of a carbon and an oxygen tree-ring isotope chronology from European larch (*Larix decidua* Mill.) in the Swiss Alps, the currently longest available tree-ring isotope chronologies in Europe. Establishing these 1,200-year long isotope records involved the sampling of both living trees and historical timber. Sampling, sample processing and isotope measurements were accomplished in cooperation with the Swiss Federal Research Institute WSL and the University of Bern. With these two isotope chronologies, the following objectives were addressed: (i) to identify the dominating climate signal in carbon and oxygen isotopes, (ii) to assess any potential biological biases, and (iii) to reconstruct long-term climate variability from stable isotopes.

Initially, two subsets of tree-ring stable isotopes from two European tree-line locations were compared to test the homogeneity of signals between tree-ring earlywood, latewood and whole-ring cellulose. Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) from northern Norway and European larch (*Larix decidua* Mill.) from the Swiss Alps demonstrated a high common signal between earlywood and latewood, correlating strongly with summer temperature. These results suggest that, for European tree-line conifers, the separation of earlywood from latewood is unnecessary to resolve an annual isotopic signal and to provide accurate climate calibrations. Indeed, using the whole ring may even improve climate correlations and therefore climate reconstructions. Thus, the use of whole-ring cellulose is recommended for climate reconstructions from tree-ring stable isotopes in conifers at tree-line location (Chapter 3).

Since European larch (*Larix decidua* Mill.) in the interior valleys of the European Alps is periodically infested by the foliage-feeding larch budmoth (*Zeiraphera diniana* Gn.), possible impacts on the isotopic signatures in tree rings were investigated to exclude potential errors in the climate reconstructions. By comparing carbon and oxygen isotope chronologies of larch and their corresponding tree-ring widths from the Lötschental and the Simplon region against isotope data from non-host spruce (*Picea abies*), any effect of larch budmoth outbreaks on the isotopic signatures could be excluded. These results were confirmed by robust climate-isotope relationships that persist back in time despite several severe, well documented outbreak events in the past. A comparison with long-term monthly resolved temperature data furthermore revealed a strong coherence between late-summer temperatures and larch budmoth defoliation events, suggesting that cool summers are conducive to outbreak events, while at the same time being accurately replicated in the stable isotope signatures (Chapter 4).

A sensitivity study focussed on the climate-isotope relationships in living trees from the Lötschental. Unlike the more traditional dendroclimatological parameters tree-ring width and maximum latewood density, which contain only summer temperature information at this site, both isotope series demonstrated in addition to temperature a highly significant sensitivity to precipitation (mainly for carbon) and sunshine duration (mainly for oxygen). Although being restricted to a narrow July-August window, all of these climate-isotope relationships are preserved in younger trees from the same site and strong inter-tree correlations further emphasize the high degree of climate sensitivity. Oxygen isotopes, being strongly connected to meteoric (source) water origin, react to regional weather patterns, and therefore appear to be most strongly coupled with sunshine duration as meteorological variable. At the same time, the oxygen relationship to carbon indicated that temperature and precipitation may not co-vary back in time. The reconstruction of a climate variable that can account for potential instabilities between these meteorological variables was therefore made. The resulting drought index, combining temperature and precipitation, yields the first carbon isotope based summer drought reconstruction for the Swiss Alps (Chapter 5).

Finally, climate variability over the entire 1200-year length of the isotope chronologies was assessed. By combining different cohorts from living trees and historical buildings, inconsistent offsets became apparent, which could not be explained by methodological discrepancies during sample analysis. Thus the cohorts were standardized before they were joined to avoid any overemphasis of any non-climate related long-term trends. Frequency analyses of the resulting time series demonstrated that some of the low frequency variability was maintained in these records, indicating decadal- to centennial-scale variability for July-August moisture variability (carbon) and sunshine duration (oxygen). In particular, an 11-year periodicity was identified in the oxygen isotope record, which appears likely to reflect periodic oscillations in solar activity. In combination with an existing temperature reconstruction, the isotopes clearly divide the major climate periods of the past millennium into wet/dry and sunny/cloudy episodes. In contrast to the rather dry period of recent warming, the “Medieval Warm Period” for example, appears to have been rather wet, suggesting good conditions for agricultural production and therefore human subsistence (Chapter 6).

Overall, the tree-ring stable isotope records presented here appear to be reliable archives of climate variability over the past 1,200 years. Their unique signals, being sensitive to both moisture and sunshine duration, allow us to ascertain past changes in central Europe’s hydrological cycle and may contribute to a more accurate assessment of future climate changes.

# Zusammenfassung

---

Es besteht wenig Zweifel daran, dass die Erde sich erwärmt und anthropogene Treibhausgase eine wesentliche Ursache darstellen. Um Vorhersagen über die Klimaveränderung zu präzisieren, sollte Klimamodellen ein umfassendes Bild der räumlichen und zeitlichen Klimavariabilität in der Vergangenheit zugrunde liegen. Dieses Wissen wird benötigt, um die Auswirkungen und Folgen des Klimawandels auf die Landschaft, ihre Ökosysteme und ihre Bevölkerung besser abschätzen zu können. In diesem Zusammenhang ist die Paläoklimafor-schung von grundlegender Bedeutung. Die natürlichen Klimaarchive sind häufig räumlich limitiert (z.B. bei Eisbohrkernen) oder es fehlt ihnen an hoher zeitlicher Auflösung (z.B. bei marinen Sedimenten). Darüber hinaus sind temperatur-sensitive Archive weit in der Überzahl, während Hinweise zur vergangenen Variabilität im Wasserhaushalt, insbesondere für Zentraleuropa, sehr selten sind. Das EU-finanzierte Millennium-Projekt ist daher be-strebt, die Klimavariabilität in Europa für die vergangenen 1000 Jahre genauer zu unter-suchen. Mit Hilfe verschiedenster historischer, instrumenteller und natürlicher Archive sollen modellbasierte Klimavorhersagen verbessert und damit die Auswirkungen des Klimawandels genauer abgeschätzt werden können. Stabile Isotope in Jahrringen sind hierbei von beson-derem Interesse, da sie verschiedene Klimasignale enthalten können (Kapitel 2).

Die in dieser Arbeit entwickelten Chronologien stabiler Kohlenstoff- und Sauerstoffiso-tope aus Jahrringen der Europäischen Lärche in den Schweizer Alpen stellen einen Teil des Millennium-Projektes dar und sind die derzeit längsten Isotopenchronologien in Zentraleu-ropa. Um die Chronologie-Gesamtlänge von 1200 Jahren zu erreichen, wurden die Proben von lebenden Bäumen mit Holz aus historischen Gebäuden ergänzt. Die Probennahme, die Probenaufbereitung und die Messung der Isotope erfolgten in Zusammenarbeit mit der Eid-genössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) und der Universität Bern. Mit diesen Isotopenchronologien wurden die folgenden Forschungsziele verfolgt: (i) Die Identifikation des dominierenden Klimasignals in der Kohlenstoff- und der Sauerstoff-reihe; (ii) die Abschätzung möglicher biologischer Beeinträchtigungen im Klimasignal und (iii) die Rekonstruktion von langfristigen Klimaschwankungen.

In einem ersten Schritt wurden Isotopendaten aus Jahrringen von zwei europäischen Waldgrenzstandorten untersucht, um die Homogenität des Isotopensignals im Frühholz, Spät-holz und im gesamten Jahrring zu testen. Waldkiefer (*Pinus sylvestris*) aus Nordnorwegen und Europäische Lärche (*Larix decidua* Mill.) aus den Schweizer Alpen zeigten ein stark ausgeprägtes gemeinsames Signal in allen Jahrringbestandteilen, das zudem ähnlich stark mit der Sommertemperatur korreliert ist. Diese Ergebnisse legen den Schluss nahe, dass Jahrringe von europäischen Koniferen auf Waldgrenzstandorten nicht in Früh- und Spätholz unterteilt werden müssen, um ein starkes Klimasignal der Isotopen zu erhalten. Da der

gesamte Jahrring sogar das Klimasignal stärker wiederzugeben vermag, ist seine Verwendung in der Isotopenanalyse höchst wünschenswert (Kapitel 3).

Da die Europäische Lärche (*Larix decidua* Mill.) in regelmäßigen Intervallen vom Grauen Lärchenwickler (*Zeiraphera diniana* Gn.) heimgesucht wird, sind mögliche Auswirkungen seiner Fraßtätigkeit auf die Isotopensignatur im Jahrring untersucht worden. Der Vergleich von Isotopen-Chronologien von Lärchen aus dem Lötschental und der Region Simplon mit Isotopendaten nicht befallener Fichten (*Picea abies*) vom gleichen Standort zeigte, dass jeglicher Effekt von Lärchenwicklerereignissen auf die Isotopensignatur ausgeschlossen werden kann. Dies fand weiterhin Bestätigung, da die Beziehungen zwischen den Isotopen und dem Klima trotz zahlreicher starker Befallsjahre zeitlich unverändert blieben. In Kombination mit ihrer Jahrringbreite und einer lang zurückreichenden Temperaturrekonstruktion enthüllten die Isotope darüber hinaus eine starke Beziehung zwischen dem Auftreten des Lärchenwicklers und der Sommertemperatur. Demnach sind Befallsjahre gekoppelt mit niedrigen Sommertemperaturen (Kapitel 4).

Eine Sensitivitätsstudie setzte den Schwerpunkt auf die Identifikation des dominierenden Klimasignals in den beiden Isotopenchronologien der rezenten Bäume des Lötschentals. Im Gegensatz zu den klassischen dendroklimatologischen Größen Jahrringbreite und -dicke, die im Lötschental ein klares Temperatursignal aufweisen, zeigten beide Isotope zusätzlich ein starkes Niederschlagssignal (vor allem die Kohlenstoffisotope) und eine Affinität zur Sonnenscheindauer (insbesondere die Sauerstoffisotope). Diese Klimasignale sind auf ein enges Juli-August-Zeitfenster beschränkt und finden Replikation in Isotopenserien von jungen Bäumen am gleichen Standort. Darüber hinaus lässt eine starke Korrelation der Bäume untereinander auf eine starke Klimasensitivität in den Isotopenchronologien schließen. Die Sauerstoffisotope sind eng gekoppelt mit der Isotopensignatur im Niederschlagswasser und damit auch abhängig von Großwetterlagen (= Herkunft der Niederschläge), die durch eine charakteristische Sonnenscheindauer gekennzeichnet sein können. Gleichzeitig weist das Kohlenstoff-Sauerstoff-Verhältnis darauf hin, dass die Beziehung zwischen den meteorologischen Variablen Temperatur und Niederschlag zeitlich variieren kann. Die Rekonstruktion von Indizes, welche die Information der beiden Parameter koppeln können, ist daher von größerer Zuverlässigkeit als die von einzelnen Klimavariablen. Dies führte zur Berechnung eines Trockenheitsindex, mit dessen Hilfe erstmals eine auf Kohlenstoffisotopen basierende Sommertrockenheitsrekonstruktion für die Schweizer Alpen entstand (Kapitel 5).

Schliesslich wurden die Klima-Isotop-Beziehungen auf die gesamten 1200 Jahre angewendet. Hierzu mussten die Teilstücke zunächst sinnvoll verbunden werden. Da die Diskrepanzen zwischen den einzelnen Teilstücken keine methodologische Ursache haben, wurde jedes Teilstück über seine gesamte Länge standardisiert, bevor sie dann zu einer Chronologie verbunden wurden. Frequenzanalysen zeigten, dass auf diese Weise dekadische bis hundertjährige Trends präzise wiedergegeben werden, gleichzeitig jedoch Trends über mehrere Jahrhunderte hinweg verloren gehen können. Interessanterweise zeigte die Sauerstoffchronologie eine etwa 11-jährige Periodizität, ein Zeitraum, der von der variierenden Sonnenaktivität her bekannt ist. Zusammen mit einer Temperaturrekonstruktion konnten bekannte Klimaperioden in nasse/ trockene und sonnige/ wolkige Episoden unterteilt werden. Im Gegensatz zur heutigen Erwärmung, die von vielen trockenen Episoden begleitet ist, zeigte sich die "Mittelalterliche Wärmeperiode" als eher feucht, was auf geeignete Bedingungen für die Landwirtschaft und damit auf gute Lebensbedingungen für den Menschen schließen lässt (Kapitel 6).

---

Die hier vorliegenden Kohlenstoff- und Sauerstoffchronologien haben bewiesen, dass zuverlässige Klimarekonstruktionen auf der Basis stabiler Isotope aus Jahrringen möglich sind. Darüber hinaus zeigten sie eine Sensitivität zu Klimaparametern, über deren vergangene Variabilität wenig bekannt und die daher von besonderem Interesse ist. Durch die Feuchtesensitivität der Kohlenstoffisotope und das Sonnenscheinsignal in den Sauerstoffisotopen können Veränderungen im Wasserkreislauf zurückverfolgt werden. Diese Erkenntnisse können möglicherweise dazu beitragen, Klimaveränderungen in der Zukunft besser vorherzusagen, und sie können somit für eine Anpassung und Planung richtungsweisend sein.